

## 高爐コークスの性状と原料炭

著者	久田 清明
雑誌名	東北大学選鑛製錬研究所彙報 = Bulletin of the Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy, Tohoku University
巻	10
号	1
ページ	77-92
発行年	1954-09-30
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/32216">http://hdl.handle.net/10097/32216</a>

# 高爐コークスの性狀と原料炭

久 田 清 明\*

## 1. ま え が き

製鐵業は技術的に見ると全く熱工業であつて、熱的バランスの上に立つて生産が行はれてゐると云う事が出来る。従つて燃料の量と質とが直ちに全體の生産に決定的に影響する。ここに室蘭製鐵所の例によつて銑鋼一貫作業に於ける一ヶ月間の熱状態を見ると第1表の様である。

第1表 室蘭製鐵所に於ける一ヶ月間の燃料並熱状態

生産量：銑鐵 52,600t, 鋼塊 44,200t, 鋼材並半成品 33,400t

### (A) 入 荷 熱 源

工場への入荷燃料：原料炭 66,500t, 一般炭 4,300t, 雜炭 260t, 重油 1,200t

工場に於ける使用割合 (%)

	コークス爐	ボイラー	機 關 車	煉 瓦 工 場	平 爐
石 炭	93.5	3.3	1.1	1.1	—
重 油	—	—	—	—	100

### (B) 製 造 熱 源

製造燃料：塊コークス 41,600t, 粉コークス 2,600t, コークスガス  $22,900 \times 10^3 \text{m}^3$ , 高爐ガス  $150,200 \times 10^3 \text{m}^3$

工場に於ける使用割合 (%)

	高 爐	焼 結	ト ロ マ イ ト	平 爐	壓 延	ボイラー	コークス爐
コークス	87.8	7.2	1.5	—	—	—	—
コークスガス	—	—	—	35.8	27.8	23.8	—
高 爐 ガ ス	25.5	—	—	—	8.2	34.6	30.2

### (C) 使 用 熱 量

	高 爐	ボイラー	平 爐	コークス爐	壓 延	焼 結	煉瓦工場
熱量( $\times 10^9 \text{kcal}$ )	325.5	81.5	47.3	41.3	38.0	23.3	4.3
割 合 (%)	57.0	14.4	8.3	7.3	6.7	4.2	0.7

註 少量のものは略す。

これらの簡単な表よりも見られる様に外部より工場に入つて来る熱源の 93.5%はコークス原料炭である。そしてこれはコークス爐に於てコークスを製造するのであるが、その際發生するガスは製鋼、發電、鋼材製造に使用され、コークスは銑鐵製造の燃料となると共に、同時に發生するガスの内26%は高爐用空氣の予熱に、30%はコークス製造用に、残り50%は發電、鋼材の製造に使用されている。製鋼用の不足分の熱量は重油により補われて全作業が遂行される。熱量的に見ると外部より工場に持込まれる熱量の94%は原料炭として入荷し、それがコークス、コークスガス、高爐ガスの形となつて分配され生産工程の熱源となつてゐる。即ち製銑、コークス、壓延、焼結の所要熱量の 100%、製鋼の 78%、發電ボイラー用の 86%の熱量は原料炭として持込まれてゐる。一般炭、雜炭は機關車、耐火煉瓦製造、ボイラー用の不足分14%の燃料である。

原料炭は述べるまでもなく高爐用コークスの原料で、生産される塊コークスの全量が高爐に使用され、その熱量は工場の全消費熱量の57%に相當する。高爐ではガス狀燃料の全熱量の50%を發生し、コークス製造用熱量の 100%、發電用の 55%、壓延工場所要熱の 50%をまかなつてゐる。

\* 富士製鐵株式會社室蘭製鐵所

る。他の50%のガス状燃料はコークス爐ガスである。従つて工場の熱バランスは高爐が左右していると云い得る。その上コークス爐はその作業の性質上ガスの發生が安定しているものであるが、高爐操業はその反應が複雑なため爐況が浮動し易く、その結果は熱の消費、發生が大きく浮動し、全工場の熱バランスに大きな影響を及すものである。高爐に於て爐況が不調となると、爐内反應は不円滑となり生産が減退して發生ガス量が減少するため、全工場の熱バランスが破れて来る。このため高爐の順調な操業は生産、品質の維持向上のためばかりでなく全工場の作業の上から最も緊要な事となつてゐる。

コークスはこの高爐の所要熱量の90%を占め、爐内反應、發生ガスの主體であり、量的にも爐内内容物の容積の60%を占めてゐるのでその性状の爐況に及ぶ影響は非常に大きく、決定的な關聯を持つてゐるため、操業上最も關心が拂はれてゐる。特に我國には強粘結炭が少いため従来よりコークスの強度についての關心は深かつたのであるが、更に最近は粒度についても深い關心が拂はれる等、高爐コークスの性状に關しては各製鐵所に於て深く研究が行はれ、製銑技術の改善向上と相俟つて、高爐操業の成績は目覺しく向上した。著者は現在の段階に於て考へられてゐる高爐コークスの主なる性状と、それに關聯する原料炭の性状について述べて見たい。

## 2. コークス灰分

コークスの灰分の多寡が高爐の操業に及ぶ影響の甚大な事は申す迄もない。戦前迄我國の高爐コークスの灰分は15%程度であつたが戦時中原料炭の質の低下に伴い灰分も上昇した。然し戦後コークス灰分の低い事が高爐の能率に非常に効果のある事が認識されると共に、低灰分の米國炭

第2表 室蘭製鐵所に於けるコークス灰分の變遷

年 度	22	23	24	25	26	27	28
灰 分 (%)	22.5	18.0	16.5	15.4	12.9	12.4	10.5

の輸入と、各鑛山に於ける炭質向上の努力とによつて第2表の様に年々灰分が低下し、今日當所に於ては10%臺のコークスを使用している。

高爐に於けるコークス灰分の影響は第一にコークスは燃燒用炭素源として裝入するものであるから、灰分の多寡はコークス t 當りの炭素、即ち裝入熱量の多少に關係がある。銑鐵 1t 生産するにはコークスとして 550~650 万 kcal の熱を消費してゐるのでコークスの發熱量が低下すればコークスの消費量が増大する。通常銑鐵 1t 生産するために消費するコークスの t 量をコークス比と稱してゐるがこのコークス比が増大する。

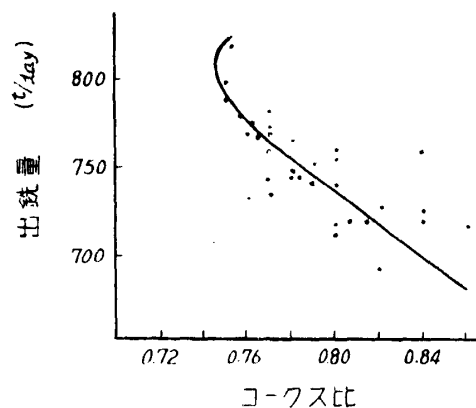
第二にスラッグの量に影響がある。即ちコークスの灰の組成は勿論原料炭により異つてゐるけれども、今一例として室蘭製鐵所の裝入コークスの灰の組成は第3表の様である。この内  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,

第3表 コークス及高爐スラッグ組成

	$\text{SiO}_2$ (%)	$\text{CaO}$ (%)	$\text{Al}_2\text{O}_3$ (%)	$\text{MgO}$ (%)	$\text{MnO}$ (%)	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ (%)	$\text{FeO}$ (%)	$\text{P}_2\text{O}_5$ (%)	S (%)
コークス灰	47.4	5.9	26.6	2.3	0.17	9.3	—	1.24	0.54
高爐スラッグ	34.2	41.5	16.4	4.3	1.0	—	0.5	—	1.1

$\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$  はとも角、75%を占める  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  はスラッグの生成成分である。灰分の増大はそれに相當するスラッグの増大となる。更にスラッグはその融點、粘性、スラッグとしての化學作用を考慮して第3表の様な組成にする必要がある。このため石灰石を裝入する必要がある。計算上からコークス灰 1t に對し石灰石約 1t の裝入を必要とし、1.4t のスラッグを生成する事になる。このためこの石灰石の煅燒熱と、1.4t のスラッグの生成持ち去る熱量は裝入コークスによつて補はねばならぬ。通常高爐に於てはスラッグ 1t の生成増量に對し灰分12%のコークスを 350kg 程度必要とするとされている。この點よりコークス灰分の増加は明らかにコークス比の増大をもたらす。

第三に高爐は一つの充填塔であるため、コークス比が増大し、石灰石の装入量が増大すれば爐内の有効生産反應の容積が減少したと同じ結果となり生産効率が低下する。即ち今日大型高爐に於ては1日に銑鐵1t生産するために必要な容積は $1.3\text{m}^3$ 程度として設計されているが、装入物の量が増大し従つてその容積が増大すれば、銑鐵屯當り生産のための容積が増大するため、結局高爐の生産容量が減少する事となり、生産量の低下はまぬがれない。特にコークスの嵩比重は他の原料に比し小さく $1/2$ 程度であるため、コークス装入量の増減の容積に對する影響は大きく、高爐の能率に深い關係を有している。又一般的にコークス比は高爐の能率に左右される事が大きく、第1圖はその例である。

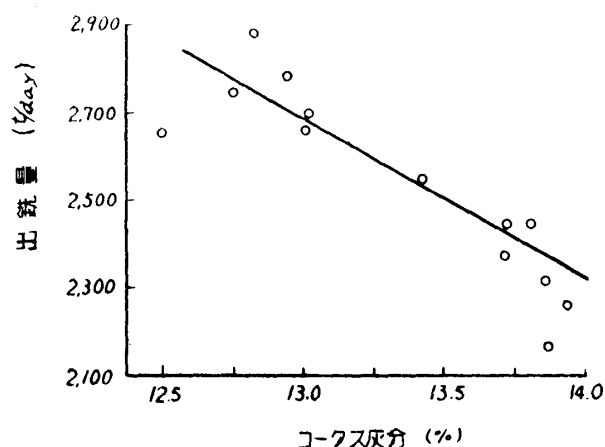
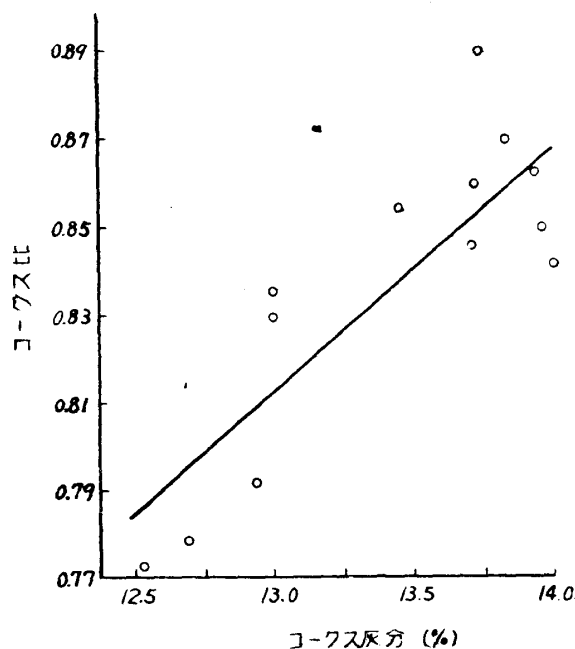


第1圖 高爐生産能率とコークス比の關係

第四にはコークスの燃焼は爐の下部にある羽口より吹き込まれる熱風によるもので、この燃焼帶で出來た $\text{CO}_2$ ガスは直ちに過剰にある高熱コークスと作用して $\text{CO}$ となり還元ガスを生成する。この燃焼熱により銑鐵、スラッグが熔融されて爐床溫度が適度に維持され、且爐内溫度分布が保たれているのである。この燃焼帶は羽口前 $60\sim 80\text{cm}$ 程度の深さで、この部分で強烈な燃焼が起り、溫度が充分高溫に保たれねばならない。コークスの灰分が高いとここの燃焼狀態が低下して爐床溫度の低下をもたらし、スラッグの性狀が悪化して爐況の不調を來す。従つて爐床溫度を常に適當に保ち得る様なコークスでなければならない。

以上コークス灰分の高爐作業に與へる影響についての主な點について概略を述べたのであるが、操業的にはこれらの影響が綜合されて、能率の低下、コークス比の増大、或は爐況の不調、品質の劣化という結果となつて表はれて來る。ここに八幡製鐵所の最近の例<sup>1)</sup>によつて見ると第2圖、第3圖の様にコークス灰分によつて能率、コークス比が左右され、強い相關々係が出てゐる。

更にコークス灰分のこれらの影響はコークス灰

第2圖 高爐の生産量とコークス灰分の關係<sup>1)</sup>第3圖 高爐のコークス比とコークス灰分の關係<sup>1)</sup>

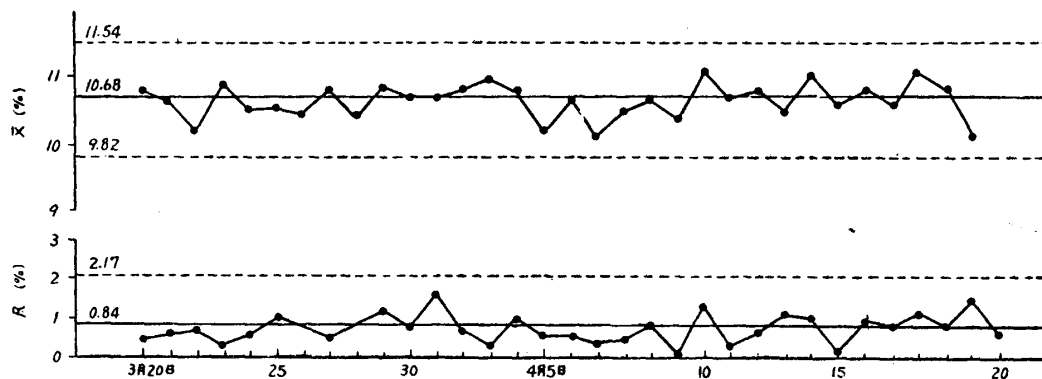
分が高い程大きく、灰分1%の増減によるコークス比の増減に與へる影響をとると、コークスの平均灰分が15%程度に於ては10%程度の場合の約2倍の影響があるとされている。

その他コストの面よりの灰分の影響については勞働性、經費、間接的にはコークスの生産量、

1) 八幡製鐵所：コークス會議資料、第12回（昭和29年）。

スラッグ處理等多い。これについての研究も亦多いがここには略す。

以上はコークス灰分の多寡による影響について述べたのであるが、作業上に於ては灰分の「ばらつき」というか、浮動が高爐の爐況に非常に大きい影響を與へる。爐況不調の原因はこの急激な變動による事の方が大きいとも云へる。この事は上述の事からも考へ及ぶ事であるが、コークス灰分の浮動變化があると、入熱量の浮動、爐床温度の浮動をもたらし爐内温度分布が急に變動して来る。高爐は熱容量が老大なために、これに對する調節には時間を要するため、この變動に直ちに對應する事が出来ない。従つてその影響は大きくなり爐況は變調を來し、作業上のトラブルを引き起すに至る。この様な變調が起ると不安定な爐況が續き回復するには長時間を要するのが普通で、能率は著しく低下し、コークス比は増大し、品質は劣化する。このため作業上ではコークスの平均灰分の幾分高い事よりも灰分の浮動の大きい事の方が重視されている。従つて原料炭の配合の變更時には充分慎重に行う事は勿論、常時の石炭配合の作業に於ても、各製鐵所共に改善を加へ今日コークス灰分の變動は非常に小さくなつてゐる實情にある。ここに室蘭製鐵所の



第4圖 コークスの灰分管理圖

一ヶ月間のコークス灰分の管理圖を示すと第4圖の様で、良好な管理状態となつてゐる。

### 3. コークス強度

コークスの強度は通常潰裂強度で示される。この試験は内側に4枚の羽根のある徑1m、長さ1.5mのドラムの内に試料塊コークス10kgを入れ30回々轉して粉碎後50, 38, 25, 15mmの角孔の篩にて篩別して、15mm以上の歩留を指數としている。25mm, 50mm上の値を使用する場合には25mm指數, 50mm指數と云つてゐる。この物理的意義はコークス塊に分布されている龜裂の多少を示すもので、<sup>2)</sup>主としてコークスの耐破碎性を示しているが、これに少し耐摩耗性が加味されている。25mm指數は全く耐破碎性を示していると見て差支へない。この關係を當所の試験結果で見ると第4表の様である。即ち潰裂強度が高いために龜裂が少く且摩耗しないコークスである事である。即ち龜裂分布の多少による耐破碎性を強度と云つてゐるのである。このコークスの耐破碎性即ち強度が重視されるのはコークスの輸送途上の粉化と高爐内に於ける破碎粉化である。

第4表 コークスの強度と龜裂、摩耗性との相關係<sup>2)</sup>

	25mm 指數	潰裂強度	備 考
龜 裂 度	-0.8095**	-0.7886**	龜裂數/100cm <sup>2</sup> < 3mm 量
摩 耗 度	-0.1623	-0.5837**	

コークスである事である。即ち龜裂分布の多少による耐破碎性を強度と云つてゐるのである。このコークスの耐破碎性即ち強度が重視されるのはコークスの輸送途上の粉化と高爐内に於ける破碎粉化である。

高爐に裝入されるコークスは爐前にて篩はれて25mm以上の塊コークスのみである。裝入コークスの粒度の一例を示すと第5表の様である。これは次節に述べる様に25mm以下の粉コークスの裝入は高爐に悪影響があるためである。従つて強度の低いコークスはコークス爐より高爐迄輸送される間に粉化されるため、高爐前の塊コークス歩留が減少する。これは輸送方法にもよるけれ共當所に於てコークス爐より高爐裝入バケツ迄の粉化率とコークスの潰裂強度との關係

2) 久田清明：富士鐵技報，1 (1952)，304.

第5表 高爐装入コークスの粒度分布例

例	篩目 (mm)	<25	25~50	50~75	75~100	100~150	>150	平均粒徑
I	歩留 (%)	2.62	25.18	51.46	19.39	1.28	0.07	60.6mm
II	〃	1.22	21.66	47.20	23.94	4.90	1.08	66.9 〃

第6表 コークスの潰裂強度とコークスの粉化

潰裂強度	90.5	87.7	84.8	82.4	備考
全粉コークス歩留 (%)	10.7	15.9	19.8	23.5	$\frac{25\text{mm以下粉コークス量}}{\text{全コークス量}} \times 100$
その内純輸送中に発生する粉コークス (%)	6.0	9.1	12.0	13.0	〃

を見ると第6表のようになってゐる。即ち強度の高いコークスはコークス爐前に於ける粉化が非常に少く且輸送中の粉化も亦非常に少い。このため塊コークス歩留が著しく良い事になる。

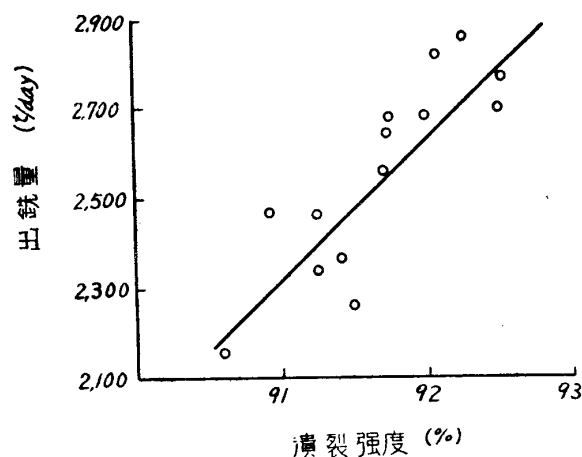
高爐は塊コークスのみを使用するため、この歩留の多少は原料炭の消費量、コークス爐の能力に關係する。通常の揮發分 32% 程度のコークス爐装入炭の全コークス歩留は 73% 程度であるので潰裂強度が 90 の場合、粉發生歩留が 1% 増減すれば原料炭の装入量を約 1.5% 増減しなければならない。且篩分、輸送等間接的に影響があるためコークス歩留は非常に大きい問題である。

一方コークス爐作業に於ても、強度の低いコークスを製造する場合は、上述の様に龜裂分布が非常に多いためコークス爐の炭化室内に於て既に多くの龜裂が入り粉碎され易いため、押出機によつて押出する事が困難となる。又コークス爐は硅石煉瓦積で且弱く、この様な作業上のトラブルにより口地切その他損傷が起り易く、これはコークス爐の壽命に決定的な影響がある。このため強度の低いコークスの製造は生産設備、作業にとつて最も芳しくない事である。

次にコークスの強度の高爐操業への影響は粒度の問題が主であるが、その點については次節で述べる。上述の様に強度は耐破碎性を示すものであるが、コークスが高爐内で破碎されれば明らかに悪影響がある。高爐内に於てコークスは爐内内容物の骨格をなしているもので、装入物の重壓を受けつつ、下降して行くため壓とローリングによつて破碎されるであろう。コークスが破碎粉化すると通風が阻害され壓力を呈するは勿論、風の分布状態が片寄り吹き抜けが起り、甚しくなれば片減り、棚つり状態となり、爐況は著しく不調となる。従つてコークスは爐内に於て破碎され難い事が作業上必要である。今ここに八幡製鐵所の一例りを借りて見ると、第5圖の様に相當優良なコークスの場合に於てもコークスの強度は生産率に關係する事が見られる。

以上述べた様にコークスの強度の高い事が強く望まれ、戦後良質強粘結炭の輸入によつて、灰分の低下と共に強度が著しく向上した。ここに室蘭製鐵所の例によつてその状態を見ると、第7表の様に塊コークスの歩留、銑鐵生産率の向上、コークス比の低下がはつきりうかがえる。

周知の通り我國には良質強粘結炭がないため、製鐵業にとつて從來よりコークス強度が高爐操業上最大の問題となつていた。特に戦時中は國內炭による良質コークスの製造の研究に大いに力がそそがれ、その成果の一つとしてコーライト法が室蘭製鐵所で行はれ、我國に於て初めて國內炭のみにより大型高爐を順調に操業し得た事は力強い事であるが、其の後強粘結炭の多量輸入により經濟的な理由により中止されている。然しながら製鐵業にとつての良質強粘結炭資源の點よ

第5圖 高爐生産量とコークス強度の關係<sup>1)</sup>

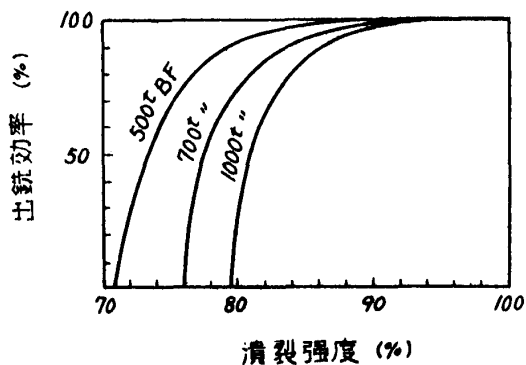
第7表 室蘭製鐵所に於けるコークス強度と高爐成績の變遷

年 度	22	23	24	25	26	27	28	備 考
コークス潰裂強度	70.1	75.2	80.0	82.7	88.5	87.8	90.4	
塊コークス歩留(%)	56.5	60.4	63.5	63.4	65.3	66.6	67.8	$\frac{\text{塊コークス}}{\text{装入原料炭}} \times 100$
高 爐 出 鉄 率(%)	66.1	78.4	79.5	90.2	89.8	82.1	99.2	$\frac{\text{生産高}}{\text{公稱年産能力}} \times 100$
コ ー ク ス 比	1.146	1.141	1.006	0.921	0.869	0.835	0.803	

註 (1) この間高爐は 225t, 700t の爐の吹入吹止あり高爐の能力に變化があつた。コークス爐も同様。

(2) 成品種別については鑄物、平爐、特殊鉄の變化があるがこれらを一率平均した。

り各國共米國に於てさえ弱粘結炭による良質コークスの製造、柔弱コークスによる鉄鐵の製造問題には強い關心を持ち研究が進められている状態で我國に於ては尙更ゆるがせには出来ない問題と考へている。



第6圖 コークスの強度と出鉄効率  
(コークス灰分12%)

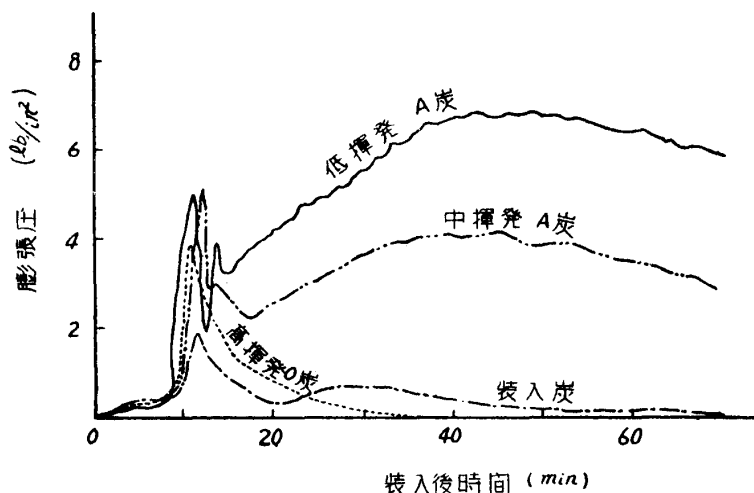
このコークスの強度はどの程度が良いかと云う問題については高爐操業技術の進歩につれ變つて來つづはあるが、過去の各製鐵所の操業記録より第6圖<sup>3)</sup>の様に強度と高爐出鉄効率の關係が出されている。この結果より見れば通常の生産をつづけるためのコークス強度の希ましい範圍は一般的には第8表

第8表 高爐コークスの強度範圍

高爐能力 (t/day)	300	500	700	1000
コークス強度範圍	>75	>84	>87	>90

の様になる。勿論この數値は鑛石の性狀、コークス灰分によつて變化するものである。

要求される様な強度の高いコークスは強粘結炭の多量配合によつて遂行出来るのであるが、然

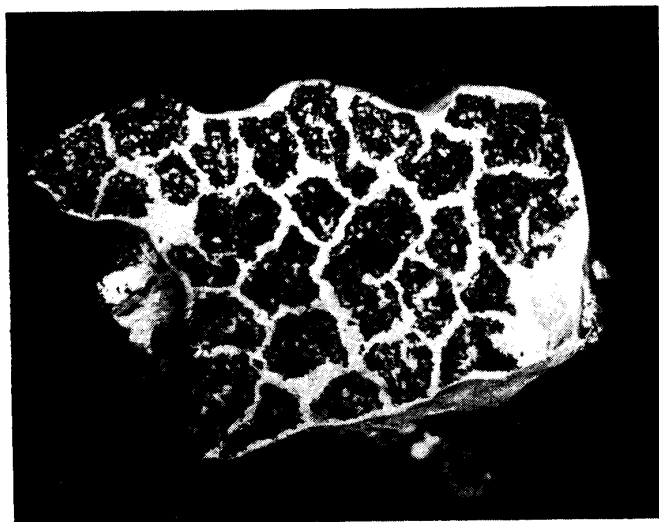


第7圖 乾餾途中の膨脹壓の變化

炭は配合効果は非常に良いが余り多量配合出来ない。装入炭が適度の膨脹壓を有する様にしなければならない。通常 0.8~1.2 lb/in<sup>2</sup>程度でなければならない。この様にコークス爐にとつても、高爐にとつても適度な強度である事が必要で、各作業所に於て特有の原料炭に對し最も好ましい配合が望まれ決定されてゐる次第である。

3) 馬場：燃料協會，本邦コークス工業最近の進歩，(1951)，58.

このコークスの強度は如何にして發現されるか。これに關しては從來より多數の研究がある。がそれらの大部分は粘結性の研究でそれについてはこゝには省略する事として、強度が主として龜裂分布の状態によるものであるといふ考へにより龜裂發生について略説したい。<sup>2)</sup> 龜裂というのはコークスがワーク上にて碎ける太い龜裂の事でなく、外觀よりはよく見られないが切斷した場合内部に見える寫眞1の様な多數の龜裂の事である。この龜裂は石炭が軟化熔融する膨潤期の終期に内部歪が発生し、500°C 以上で固化收縮してコークスとなる際龜裂となつて現れて來るものと考へられる。爐内に於ける膨潤層は加熱面に對し平行面でその厚さは25mm程度と考へられ、この層が時間と共に炭化が進むにつれて中心部に移行して行くものと考へられる。この加熱面に平行な層に於て膨脹壓により、それと垂直方向に歪が発生し龜裂の核となり、その後の固化、收縮により龜裂となつて發達して行くものと考へられるので、龜裂は主としてこの方向に六角柱状をなして分布してゐる。粘結性の強大なものは分子間の結合力が大なるためこの應力に抗して龜裂の核の分布が少く龜裂が入り難く従つてコークス強度が大である。原料炭の種類によつてはコーライト微粉を配合する事により強度が向上する。この理由は石炭の膨潤期に於て石炭分子は軟化熔融しプラスチックになるのに反し、コーライト粉は熔融せず固體のまま分散してゐる。このためプラスチックの内に固體粉を分散した場合と同様の原理によつて、石炭分子の間の索引ポテンシャルの發生により抗張力が増大し龜裂が入り難くなるものと考へてゐる。この理由によつて石炭の配合、コーライト等の配合に當つては、この分子間の索引力は配合物と石炭相互の分子の極性の對應によつて異なるため、配合に適合性が存在しそのため配合効果が石炭によつて異つてゐるのである。この適合性は配合試験によつて定めねばならない。



寫眞1 コークスの龜裂

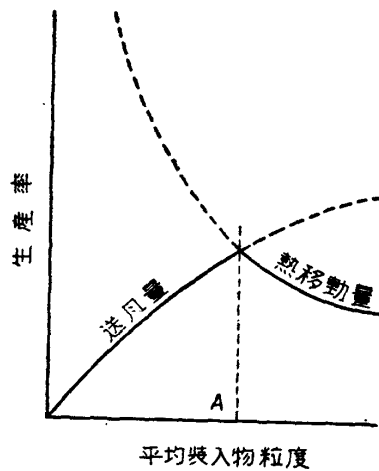
以上強度について述べたがこの場合に於ても灰分と同様、高爐作業上その浮動、ばらつきは非常に影響が大きい。それについては次節の粒度の項に於て述べる。従つて配合にはこの點に常に留意されねばならぬ。特に強度の低い場合には變動が非常に大きくなるので、強度の高い事が望まれる理由の一つともなつてゐる。

#### 4. コークスの粒度

高爐は前述した様に充填塔と考へられ、その生産量は一つの爐について云へばその爐を通る風量によつて左右される。これには風壓との關聯があり、この様な充填塔の場合風壓は風量、内容物のボイドに2乗で、粒徑に1乗で關係する。ボイドは粒度によつて決定的な關係がある。従つて高爐の風壓、風量に關して裝入物の粒度が最も大きい影響を有してゐる事になる。こゝに云う粒度というのはコークス、鑛石の塊の平均粒徑の事を云う。即ちこれらの平均粒徑が大となれば通風による壓力降下が減少するため多量の風を送り込む事が出來、従つて生産を上昇せしめる事が出来るわけである。

一方又高爐に於ては化學反應をせしめるために重要な事は爐内の溫度分布である。高爐シャフトは充填塔として一つの熱交換器として用ひられてゐるとも考へられ、その溫度分布は熱傳導によつてゐる。この分布が良好でないと化學反應の位置が變動し、爐熱の過度の上昇、低下を來し、操業は不安定となり、生産に強く影響する。従つて粒度についてはこの熱交換即ち熱傳導の方よりおさえられる關係がある。鑛石はコークスより熱傳導が低いいためコークスより粒度を小とする





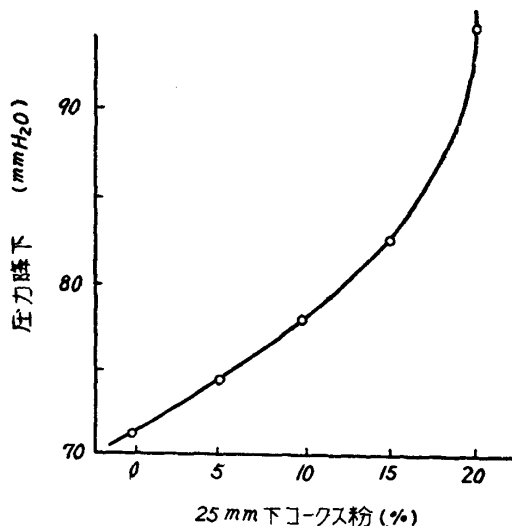
第8圖 高爐生産率と粒度の関係

事を要する。又鑛石は還元速度の大小も亦考慮に入れなければならない。この面より見ると装入物の平均粒径は小さい程熱交換能が大で生産は向上する事になる。即ち上述の二つの事を圖にすれば第8圖の様に風量と熱交換能により各々の曲線の様に生産率が變化する。實際にはその生産率はその下の方の線によつて支配されてゐるわけで、ある一つの高爐にとつては圖のA點の様に最も生産率の良い適した粒度があるわけである。然し高爐装入物についてはコークス、鑛石の粒度を各々獨立して考へられない。鑛石の粒度はその工場の使用する鑛石の性状によつて異なる。例へば米國の例を文献<sup>4)</sup>によつて見れば第9表の様である。従つてコークスの粒度もこれに對應する様決定されねばならない。

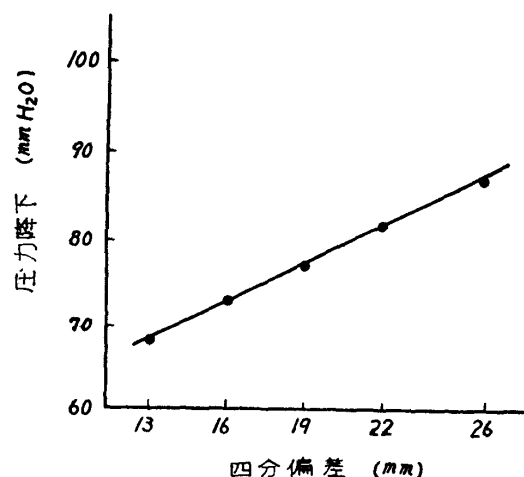
第9表 米國に於ける平均鑛石粒度

鑛 石	クリフス	リチャード	クエンザ	アボン	ベンソン	ブライン	キャンビー	ユ タ	イーグル
平均 粒 徑 (in)	0.79	0.76	1.35	0.43	0.43	0.33	0.48	0.50	1.02

上述したのは平均粒径についてで粒径が大となれば通風の壓力損失が低下するため風を多量送り込め得ると考へたのであるが、實際上にはこの平均粒径と共に粒度分布の範圍が問題となるのである。即ち粒径の分布が廣い、不均一の場合は粗い粒子の間に細い粒子が充滿し、却つて通氣が阻害される事である。高爐コークスは25mm以上を使用してゐるが、これに25mm以下のコークス粉を混合すると風壓に對する影響は第9圖の様に相當顯著に見られる。又コークスの均一性については（この風量風壓の試験は通常通氣性<sup>5)</sup>の試験によつて居る）當所の試験の結果で第10圖は同一の平均粒径でその粒径の分布（四分偏差をとつた）のみの異なるコークスの通氣性を調べたのであるが、粒径分布の範圍の大小により通氣性が變化してゐる事がわかる。



第9圖 通氣性と粉コークス量との關係



第10圖 通氣性とコークス粒度のばらつき

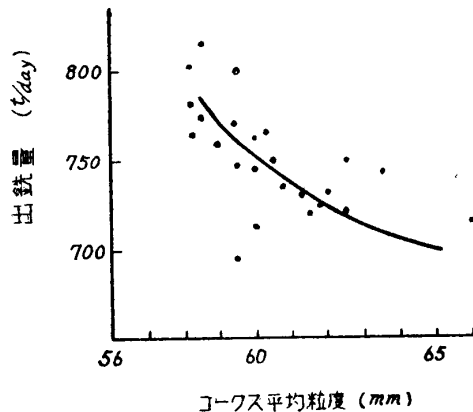
更に不均一粒度の場合の悪い事はボイドの大きい部分と小さい部分の偏りが出來易い事で、このために吹き抜けが起り易い。吹き抜けが出來ると爐の全斷面積の均等な作用は出來ず、爐の作業容量は急激に減少する。又この吹き抜けが出來進行すればその部分のみ温度は上昇し、反應は

4) Ergun, S. : Ind. Eng. Chem. 45 (1953), 477.

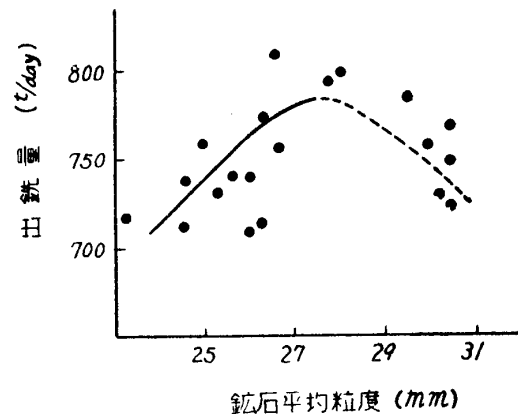
5) Stubbs, P.B. and R.L. Stephenson : Blast Furnace Steel Plant, 41 (1953), 772.

進み爐内は不均等な状態、即ち片減りの状態となり、激しく進めば棚つり状態となる。この様なれば生産の効率は著しく低下し、作業上にもトラブルが起つて来る。

コークスの平均粒度と粒度分布はこの様に作業上の影響が大きいため、特に最近各製鐵所に於



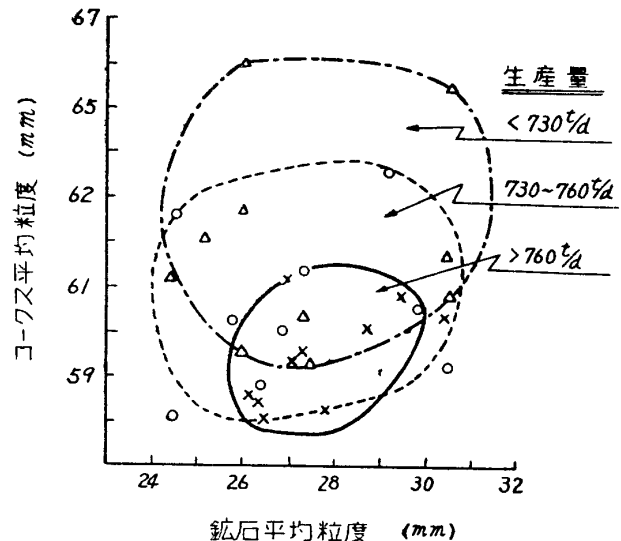
第11圖 高爐生産能力とコークス  
粒度の關係



第12圖 高爐生産能力と鐵石粒度の  
關係 (石灰石を含む)

て高爐装入物の粒度について研究され、改善が行はれてゐる。當所に於て或る1ヶ月間試験した結果を圖にすると第11, 12, 13圖の様に生産率に對し鐵石、コークス共に明瞭な關係が示され各々適当な粒度のある事が知られ、且第13圖に示される様にその範圍は小さい。然しながらこの數値は鐵石、その他各種の條件によつて決定されるものであるから、爐或は原料によつて最適粒度は定るべきで一概には云へない。従つてコークスの平均粒度は各製鐵所によつて異つて居る。文献による米國の例<sup>4)</sup>によつても第10表の様に色々である。

生産率が向上し、高爐内の通風状態が均一



第13圖 高爐生産能力とコークス及鐵石粒度の關係

第10表 米國に於ける高爐コークスの平均粒度

工 場	クレアトン	ベスレヘム	ブルクリン	インターレク	フォード	インランド	コッパース	ゲネバ
平均粒径 (in)	2.1	2.2	2.4	1.9	2.5	2.3	2.6	1.8

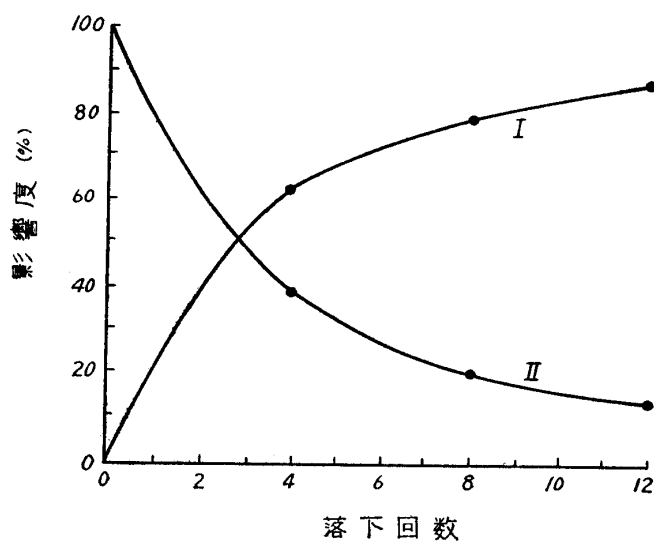
で順調な操業を行へば高爐の爐内効率は良くなり、又反應は順調に進むためコークス比は低下する。最近八幡製鐵所、小倉製鐵所に於ては、装入物の粒度調節を充分行ふ事によりコークス比が0.7以下といふ目覚ましい成績を示してゐる事は我國製鐵界の最近の大きな成果の一つである。<sup>6)</sup>

適正な粒度はいくらかといふ事は上述のわけで決定出来ず総合的な装入物全體として考へねばならないけれ共、一般的に云へば鐵石は磁鐵鐵は 30mm 以下、赤鐵鐵は 50mm 以下で且 10mm 以下の粉の無い事が望ましく、石灰石は 40~20mm、コークスは 25mm 以下或は 100mm 以上の如き大塊や粉の混入は望ましくなく粒度がそつてゐる事が要求される。平均粒度で示せば鐵石 23mm 程度、コークス 60~70mm 程度となる。このためにはコークスは配合、乾餾條件により粒度を調整すべく、鐵石は破碎、篩別の強化の方向に將來進むべきものと考へる。

高爐装入コークスの粒度はコークス爐より押出された直後の最初のコークス粒度と輸送途中の

6) 鐵鋼品質管理部會資料、第9回製鐵委員會、(昭29年)。

破碎とによつて定まつて来る。當所の設備の場合、落下試験を繰返す事によつて途中の各所のコークス粒度を推定する事が出来るので落下を繰返して粒度に對するこの兩者の各々の影響力を調べて見た。その結果は第14圖の様になつて居る。即ち當然の事ながら初めに於ては爐より押出されたまゝの最初のコークス粒度の影響が非常に大きく、落下が繰返されるに従ひコークス強度即ち耐破碎性の影響が強くなつて、終いには90%の比重を占めてゐる事が見られる。更にコークス爐前の最初のコークス粒度も亦コークス強度とは關係があり、第15圖の様になつてゐるので、高爐に裝入するコークス粒度は殆どコークス強度によつて左右され、第16圖の様な關係が示される。

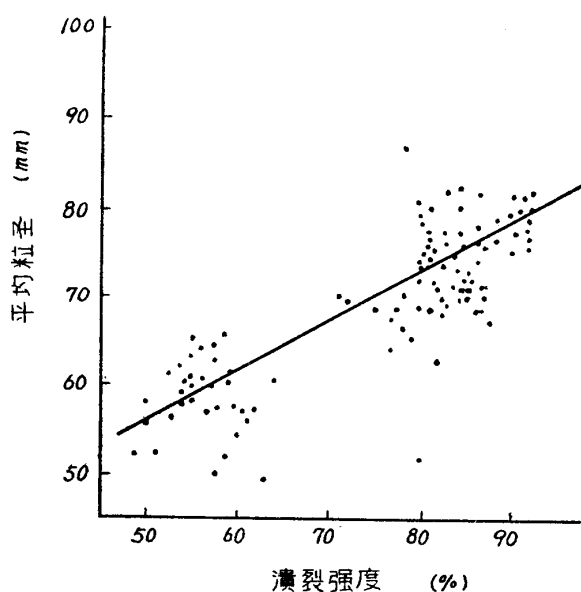


第14圖 強度と押出直後の粒度の落下粒度に及ぼす影響

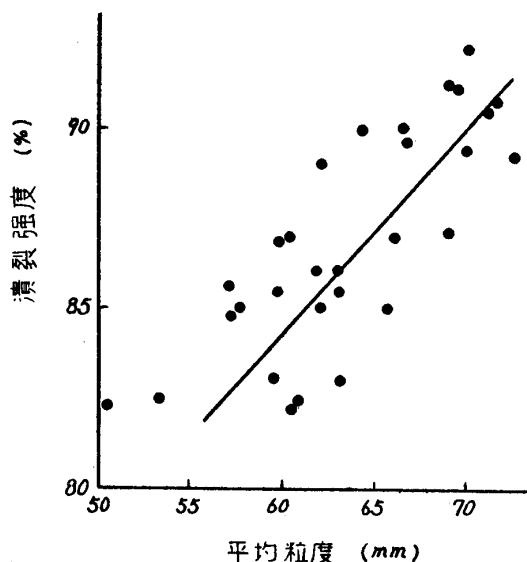
I : 強度の影響度

II : 押出直後の粒度の影響度

粒度の重要性については上に述べた様



第15圖 コークス強度とコークス爐前の最初の粒度



第16圖 高爐前コークスの粒度と潰裂強度の關係

で、それから理解される様に、その「ばらつき」浮動の少い事が作業上要求される。この點については更に述べる必要はないと考へる。浮動を少なくするためには強度の高いコークスを使用する事で、作業上強いコークスが望まれる理由の大きな一つである。従つてコークス爐裝入炭の配合變更に當つてはコークスの急激な強度、粒度の變化をもたらす様な事は嚴重に避けられてゐる。

### 5. その他の性狀

高爐コークスの性狀試験として日常行ふ試験は上述の三點の外に、分析上は水分、揮發分及硫黃分、物理性については比重、氣孔率がある。水分、揮發分はコークス製造の作業技術の問題である。硫黃分は銑鐵の品質に關聯し重要な問題であるが、本題に於ては高爐の技術上の問題を主としてゐる關係上省略して、こゝには物理性について簡単に附言したい。

見掛比重はコークスを高爐に裝入する際粒度と共に裝入密度、従つてポイドに關係がある。ポイドは通氣性に深い關係のある事は既に述べた通りである。當所の試験に於て、原料炭を變へて比重の異つたコークスを造り、裝入密度との相關を調べた所、相關係數 0.792\*\*\* 即ち 0.1% の危

險率で有意な相関があつた。又高爐の操業は前述の様に下部にある羽口よりの熱風による燃焼と、燃焼ガスとコークスとの高温に於ける反應の熱と CO が根源であるため、コークスの燃焼性、反應性は問題となる筈である。燃焼性は主として粒度、比重、氣孔に關聯があり、反應性はコークスの氣孔の状態、組成に大きく左右される事は知られてゐる。然し羽口附近は非常な高温であるため實際上高爐操業にどれ程の差異があるかは未だ結論的にわかつて居ない。然し燃焼性はキューボラ操業に於ては主要なコークスの問題である事は衆知の通りであるので、今後高爐コークスについても燃焼性、ひいては比重の問題が研究され、重要な特性と考へられるに至る事も考へられる。

比重は勿論原料炭により異なり、コークスの乾餾條件によつても異なるものである。

最後に参考のため當所の値によつて現在の高爐コークスの性狀の例を示すと第11表の様である。

第11表 室蘭製鐵所のコークス性狀

水分 (%)	灰分 (%)	全硫黃 (%)	比 重		見掛比重		氣 孔 率		強 度		高 爐 前 平均粒徑 (mm)	灰の熔融點 (°C)
			JIS	ASTM	JIS	ASTM	JIS	ASTM	潰裂強度	クンブラー (+1")		
1.43	10.62	0.56	1.65	1.94	0.96	0.96	43.4	50.3	91.8	71.2	65.0	1220°

## 6. 原 料 炭

前節迄高爐操業の面を主として高爐コークスの特性について述べて來たのであるが、これらコークスの特性を左右するものは原料炭と乾餾條件である。乾餾の條件は現在のコークス製造技術に於ては大巾の調節は困難であるので、重點は原料炭の選擇にかゝて來る。従つてその選擇、配合に當つてはこれらの諸點を充分に研究し、検討しなければならない。このためコークス製造、高爐操業の立場からは、原料炭の品質に對して最も強い關心が拂はれ、常に調査、試験が行はれてゐる。その立場から當所に入荷して來る原料炭について主なる點について述べて見たい。

今日室蘭製鐵所に入荷してゐる原料炭の銘柄は國內炭は勿論全部北海道炭で15種に上り、外國炭も數種ある。これらを定まつた割合に配合し前述の様な灰分、強度、粒度のコークスを得て居るもので、それらの諸性狀が日々變動する事はまぬがれない。これを極力小さくする事が必要で、そのためには各原料炭が良質であると同時に、入荷して來るものが常に一定で變動のない事が望ましい。

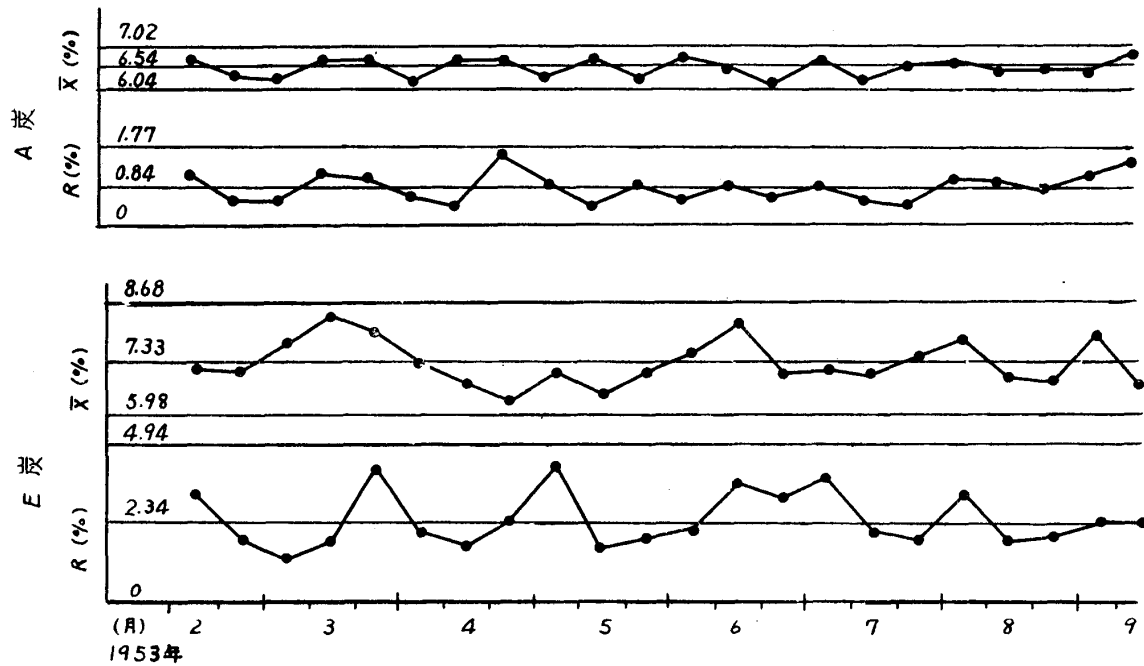
先ず灰分であるが、灰分は數年來各鑛山に於て非常に洗炭に努力されて居り、今日の様な低灰分コークスが生産され得るのはその賜であると云い得る。今こゝに二、三の銘柄を例に上げてこれを見ると第12表の様である。この値は石炭の入荷する毎に採る試料の分析値の管理圖より得たも

第12表 入荷炭の灰分の變遷

年 度	A 炭		B 炭		C 炭		D 炭	
	$\bar{X}$	$\bar{R}$	$\bar{X}$	$\bar{R}$	$\bar{X}$	$\bar{R}$	$\bar{X}$	$\bar{R}$
25	6.33	0.94	9.67	2.22	9.84	1.76	7.85	1.14
26	6.80	0.98	9.15	2.32	9.36	1.54	8.29	1.71
27	6.69	0.98	9.52	1.92	9.78	1.34	8.43	1.36
28上	6.62	0.88	8.18	1.13	7.53	0.88	7.64	1.45
28下	6.52	1.10	7.72	1.16	7.70	0.95	7.49	1.73

のを年毎にしたものである。これを見ると各鑛山の努力の跡が見られ、A炭は炭層條件がよく常に優良な原料炭であるが28年下期にばらつきが少し上つてゐる。B、C炭は25年當時平均灰分も高く見ばらつきも2%に上り良好な原料炭とは云へなかつたのであるが、その後の著しい技術向上の跡がうかがわれる。D炭は平均灰分は少いが、ばらつきが他に比し大きい。然し更に入荷毎

の分析の管理圖を細く見ると、第17圖の様な例となる。E炭は1月以降平均灰分は變つてゐない

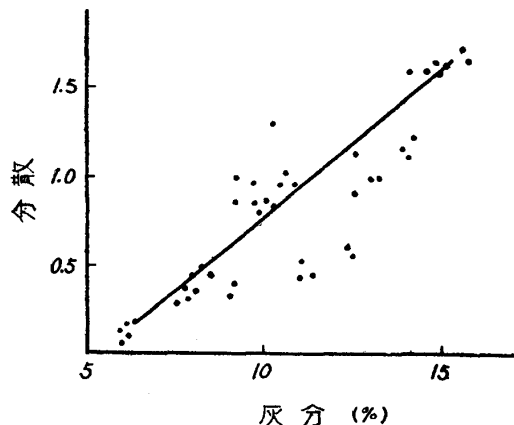


第17圖 入荷炭の管理圖

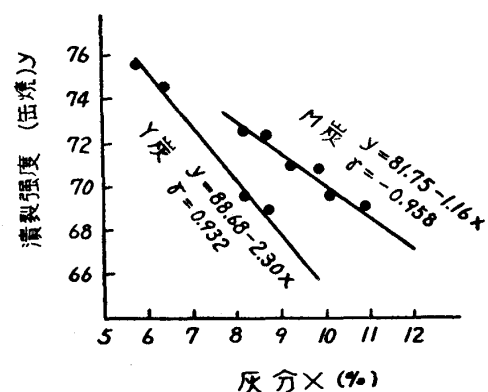
がばらつきが急激に増大してゐる。何等か炭質、或は洗炭作業上變化があつたのではないかと思はれ、原料炭としては劣化したと云ひ得るのである。

今日殆どの原料炭は6~8%の灰分で、ばらつきは $\bar{R}$ として1%程度の現状であるが、これらの石炭の揮発分は40%程度であるため全コークス歩留は67%程度で、従つてコークス灰分は石炭のその1.5倍となる。ばらつきも亦同様に大きなものとなるため大きな關心を持たざるを得ないのである。

一般的に云へば灰分の高い石炭程ばらつきが大きいもので、第18圖の様に良く洗炭されるとばらつきは減少する。又別に灰分が低下するとコークス強度が向上するのが通例である。第19圖は或る道内炭の例で灰分と潰裂強度との關係である。<sup>7)</sup> 従つて灰分がばらつければその粘結性もばら



第18圖 石炭灰分とばらつき



第19圖 入荷炭の灰分とコークス強度の關係

つくとも云ひ得る。又長期間石炭を放置すれば風化して石炭の粘結性が低下する事はよく知られてゐる所であるが、この様な場合洗炭すると強度が向上する事が多い。第13表<sup>8)</sup>に示した例は當所試験の一つで放置により相當激しくそのコークス強度が低下するけれ共、洗炭する事により粘結性を復元する事が出来る例である。洗炭はこの様に單に石炭の灰分を低下せしめるためのみならず、品質の均一化、強度の向上等炭質の向上に非常に役立ち、その意義は大きいと云ひ得る。<sup>7)</sup>

7) 久田清明：化學と工業，5 (1952)，122。

8) 久田清明，太田満喜雄：鐵鋼，36 (1950)，584。

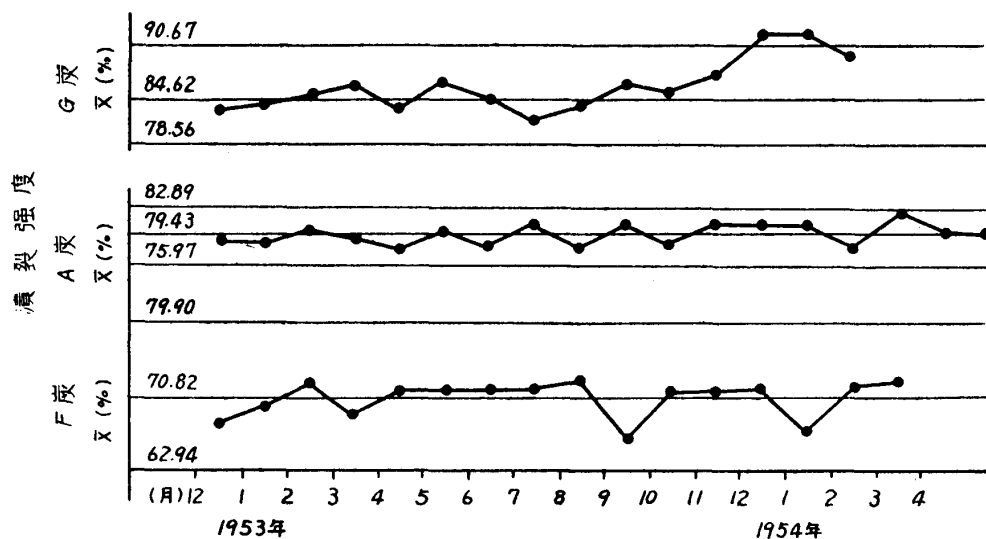
第二に粘結性である。石炭の粘結性は内容的に色々の意味に用ひられるが、こゝに云ふのは實用的な意味でその石炭によつて生成されるコークスの強度の大小を示す言葉として使用する事にしたい。

第13表 石炭の風化と水洗によるコークス強度

		初		1ヶ月後	4ヶ月後	7ヶ月後	
		粗 炭	洗 炭	粗 炭	粗 炭	粗 炭	洗 炭
A 炭		71	78	70	68	67	77
B 炭		67	71	68	65	63	71

我が國には強粘結炭が非常に少く、現在主として米國と印度より輸入し、國內の粘結炭に配合してゐる。配合に當つては原料炭の單味コークス強度と共に配合炭に對する適合性の問題がある。

こゝに現在當所に入荷する國內原料炭の單味コークス強度の管理圖の  $\bar{X}$  チャートの例を示すと第20圖の様である。A 炭は強度が比較的高く、ばらつきも少い良質炭であるが、F 炭はその點



第20圖 入荷する石炭の單味コークスの強度の管理圖

ばらつきが大きく芳しくない。G 炭は粘結性の強い石炭であるが、特に終りで強度が急激に増大して居る。これは稼動炭層の變化によるものである事が判明したが、この様に炭坑によつて粘結性が異なる場合が多いので、これらを混合する場合充分の注意が拂はれないと徒らにばらつきを増大せしめる結果となる。こゝに或る炭鑛の坑、層別によるコークス強度の差異を例として第14表に示す。<sup>7)</sup> G 炭の場合は特に坑による粘結性の差異が大であつたが、石炭の混合を計画的に

第14表 或る炭鑛の石炭の粘結性

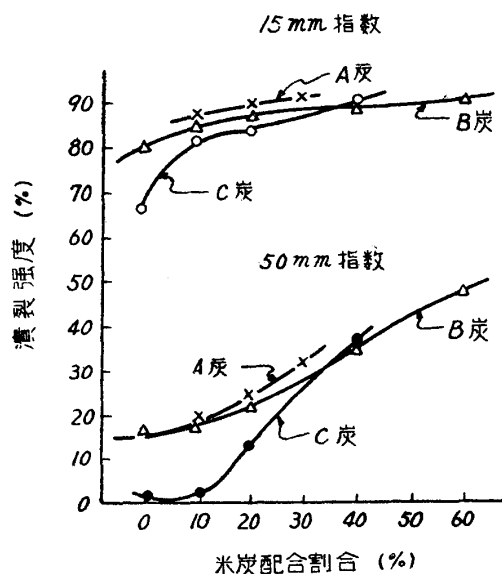
坑 名	I 坑				O 坑		R 坑	
層 名	13	14	K18	M19	12	H5	10	11
コークス潰裂強度	79	77	71	26	64	80	不 粘	81

注意深く行ふ様にして、ばらつきを小さくし得たのであつた。

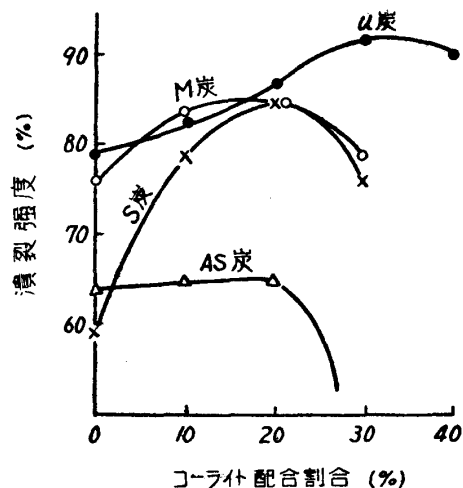
これらの道内炭は配合して乾留する場合適合性と云はれてゐる性質がある。適合性發現の理由については強度の節に於て簡單ではあるが述べた様に考へてゐる。こゝにその例を示すと第21圖<sup>9)</sup>の様で、強粘結炭を配合して潰裂強度90のコークスを製造する場合その配合要量が相當異つてゐる。特に配合物がコーライトの様に不粘結性物質の場合にはこの適合性が非常に大きく影響するため、この様な場合には特に原料炭の選擇がむづかしい。

さてこれら石炭は定量づつ配合され、デイスインテグレーター等により粉碎混合されてコークス爐に装入される。従つて装入炭の状態は原料炭のばらつきに左右され第22圖の様になつてゐる。又一日の窯と窯との間のばらつきは相當少いけれ共、そのばらつきには配合によるばらつきが含

9) 久田清明：燃料協會，本邦コークス工業最近の進歩，(1950) 14.

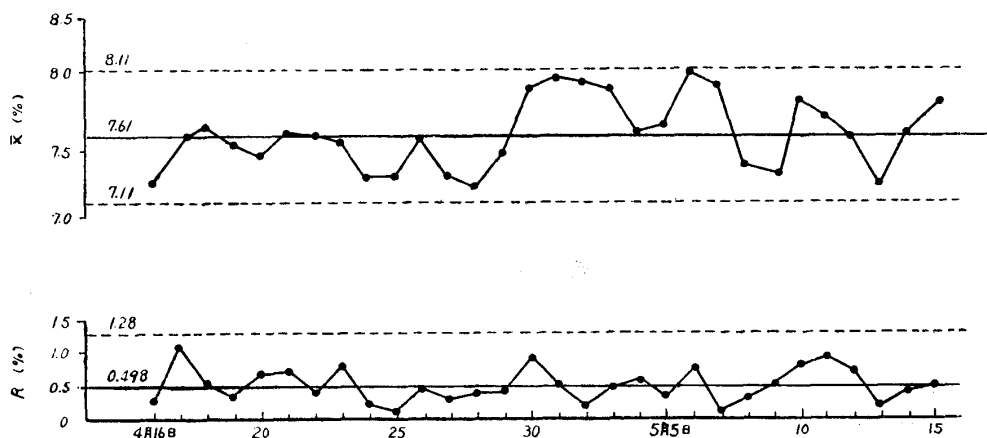


第21圖A 配合の適合性

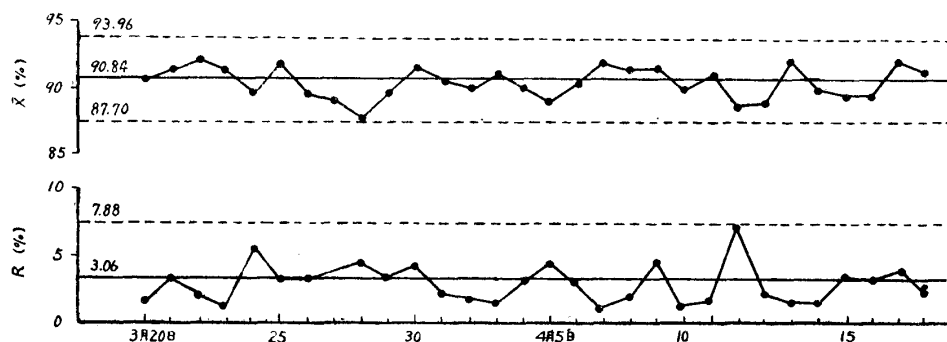


第21圖B 配合の適合性

まれるので、配合のばらつきについても充分の注意が必要な事は勿論で、現在自動化、或は常時チェック試験等により管理してゐる。その結果得られるコークスの強度は第23圖の管理圖の様な管理状態となつてゐる。灰分の管理圖は第4圖の通り。



第22圖 装入炭の灰分管理圖



第23圖 コークスの潰裂強度管理圖

第15表 配合炭の差異によるコークス粒度の相異例

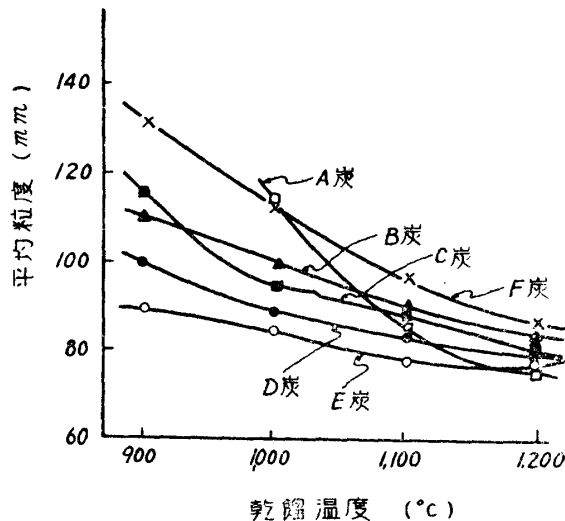
配合割合 (%)	コークス 爐前平均粒徑 (mm)	
	配 合 I (國內A+強粘B)	配 合 II (國內C+強粘D)
10	100	89
20	99	91

コークスの粒度は現在これのみを大きく調節する事は出来ず強度によつて左右される所が非常に大きい。それについては粒度の節にて述べた通りである。又配合炭の種類によつても粒度が影響される事のあるのは勿論で第15表は同一の配合割合で強度も殆ど同一であるが、コーク

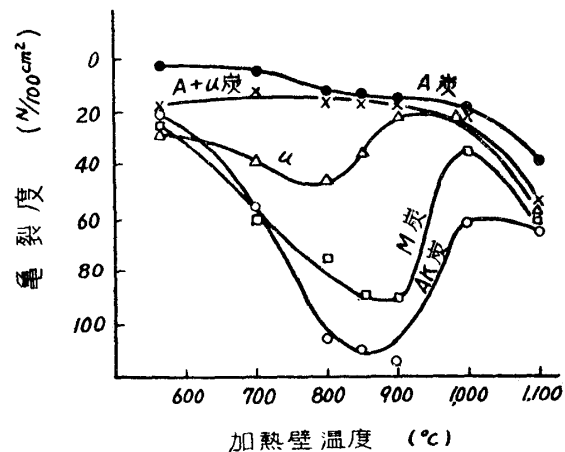
ス爐押出直後の粒度に於ては大きい差がある事が示されてゐる。これは配合原料炭の性狀の相異によるものである。

次に乾餾條件によつては灰分を左右出来ない事は云ふ迄もない事であるが、強度、粒度には影響がある。コークス粒度については第24圖の様な關係がある。即ち乾餾速度によつて粒度は變化し、又過熱すれば粒度は小となるので或る程度の範圍の調節はこれによつても可能である。然し乾餾溫度はコークスの生産量との關係がある。

強度については多くの研究がある。當所の研究によつても第25圖の例の様に乾餾條件を變へれ



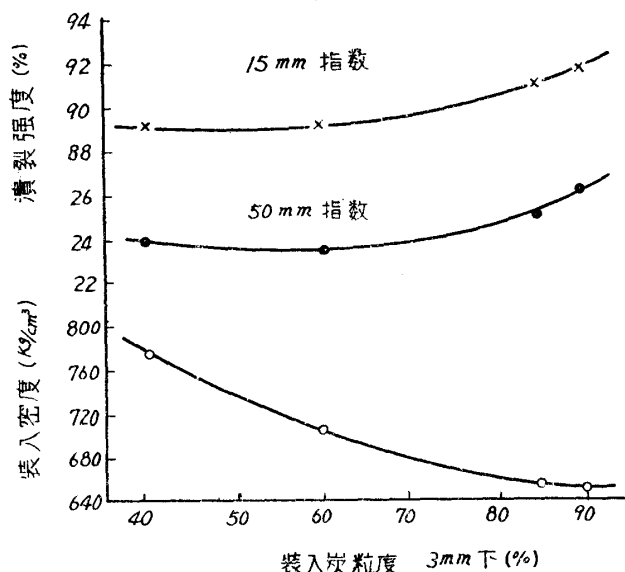
第24圖 乾餾溫度とコークス爐前の最初のコークス粒度



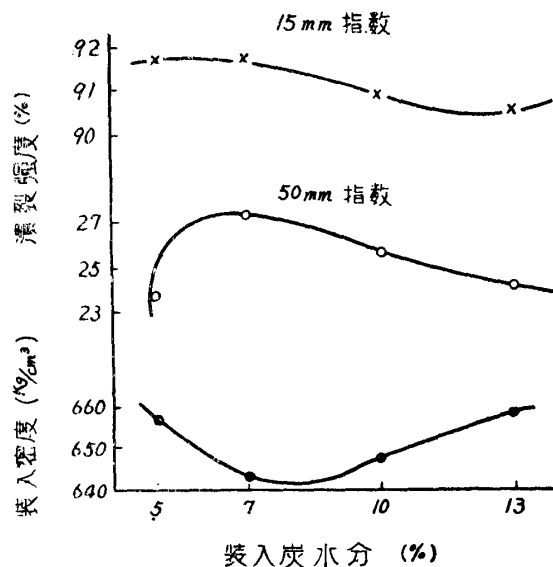
第25圖 乾餾溫度とコークスの亀裂度の關係

ばコークスの亀裂分布が變るため、石炭によつて適正な條件を選べば強度を向上せしめる事は可能とは考へられるが、實際的に現在の技術に於ては困難である。然しながら我國將來の強粘結炭の問題は重大な問題であるので、將來配合原料の研究と共にこの面の研究、進歩も亦望んで止まない。

その他装入炭は上述の様に粉碎機を通されるので、その粉碎度即ち装入炭の粒度によつてもコークスの性狀は變化する。この場合コークスの比重への影響が最も大であるが、第26圖の様に装入炭粒度が粗いと窯に多量装入され生産量は上昇するけれど、強度は少しく低下する傾向が見ら



第26圖 コークス爐装入炭の粒度の影響



第27圖 コークス爐装入炭水分の影響

れる。又粉碎機に入る前に水を添加して、装入炭に水分を附ける場合がある。これは第27圖によ



つて理解される様に石炭の爐への装入密度の調節を行ふ目的ではあるけれ共、この場合にもコークス強度は僅かに影響がある。

以上原料炭と乾餾條件について述べたが、根本的にはコークスの性狀は原料炭によつて決定的に左右されると云ふべきで、良い高爐コークスを製造するには、各々の特性を持つた石炭が量、質共にばらつきなく入荷し、理想の配合割合で配合されなければならない。

## 7. 結 言

製鐵業が量、質共に原料炭に影響される所は以上に述べた様に多大なものがあり、鐵鋼のコストの面に於ても原料炭は非常に大きな比重を持つてゐる。或國の鐵鋼業で使用されてゐる原燃料の狀態は、現在鑛石、石炭各 600 万 t 以上の年間需要量の内、鑛石はその 80%，原料炭に於ても 40%を輸入にまつてゐる次第で、我國が將來重化學工業國として確固たる地位をきつき上げ、國際收支のバランスを保つて行くためには鐵鋼業は大きな役割を受け持たねばならないと考へられ、この原燃料の問題は重大である。特に石炭は資源の貧弱な我國としては比較的豊富に持つてゐるものの一つである事を考へると、鐵鋼業に身を置く者にとつて、この資源の適正な使用と良い鐵鋼を安く多くつくり出す事が最も大きい責務であると考へる。

今日我國の高爐成績は非常な向上を示してゐるが、その原因は原料炭の質の向上と、高爐技術の進歩にある事は既に述べた通りで、更に今後もその向上、改善をつゞけ石炭、鐵鋼の基礎産業をして正しく地位つける事を希ふものである。

(昭和29年 6 月10日受理)